

SDR

Software-Defined-Radio

SDR, GNURadio & CO





SDR, GNURadio & Co



- Was ist ein SDR?
 - Unter Software-Defined-Radio (SDR) fasst man Konzepte für Hochfrequenz-Sender und -Empfänger zusammen, bei denen kleinere oder größere Anteile der Signalverarbeitung mit Software verwirklicht werden.



SDR, GNURadio & Co



- Was ist GNURadio?
 - GNURadio ist ein kostenloses Open-Source-Toolkit für die Softwareentwicklung, welches Signalverarbeitungsblöcke zur Implementierung von Software-Sender und/oder -Empfänger bereitstellt.
 - Es kann mit leicht verfügbarer, kostengünstiger externer HF-Hardware zur Erstellung softwaredefinierter Funkgeräte oder ohne Hardware in einer simulationsähnlichen Umgebung verwendet werden.
 - Es wird häufig in Forschung, Wissenschaft und Hobbyumgebungen eingesetzt, um sowohl die drahtlose Kommunikationsforschung als auch reale Funkssysteme aufzubauen.



SDR, GNURadio & Co



SDR SEMINAR TEIL 1

07.03.2024



SDR, GNURadio & Co



- Milestones der Seminar-Reihe
 - Welche Möglichkeiten bietet die SDR-Technik
 - Wie kann man mit SDR-Technik experimentieren
 - Wie kann ich die SDR-Technik dazu benutzen selbst Geräte für den Amateurfunk zu entwickeln
 - Wie verwende ich die SDR-Technik, ohne einen PC oder Laptop zu benutzen



SDR, GNURadio & Co



- Milestones der Seminar-Reihe
 - Wir werden gemeinsam
 - die SDR-Technik mit einer SDR-Software-Konsole mittels PC/Laptop erkunden
 - die SDR-Technik zu verwenden, ohne vorerst selbst eigene Anwendungen zu entwickeln
 - das Open-Source-Toolkit GNURadio installieren und den Umgang mit Modulen zur Signalverarbeitung erlernen



SDR, GNURadio & Co



- Milestones der Seminar-Reihe
 - Wir werden gemeinsam
 - ein einfaches Sende-/Empfangsgerät mit einer digitalen Modulation und Verwendung von GNURadio designen
 - Front-Ends aussuchen, welche das Umsetzen eines Transceivers auf einem Raspberry-Pi ermöglichen
 - als Ziel anpeilen einen in der Praxis einsetzbaren Transceiver aufzubauen.



SDR, GNURadio & Co



- Welche Möglichkeiten bietet die SDR-Technik
 - Geräte aufzubauen, welche zum empfangen oder senden von HF-Signalen geeignet sind aber dessen Eigenschaften von Software bestimmt wird.
 - Um ein „Software-Funkgerät“ aufzubauen ist es technisch nicht möglich, zum Senden und Empfangen ohne Hardware auszukommen.
 - Wir benötigen daher eine Hardware welche Filter, Oszillatoren, HF-Verstärker, Signalkonvertierungen u.v.m. softwaregesteuert in HF-Signale und Signalverarbeitung umsetzen kann.



SDR, GNURadio & Co



SDR EINBLICKE

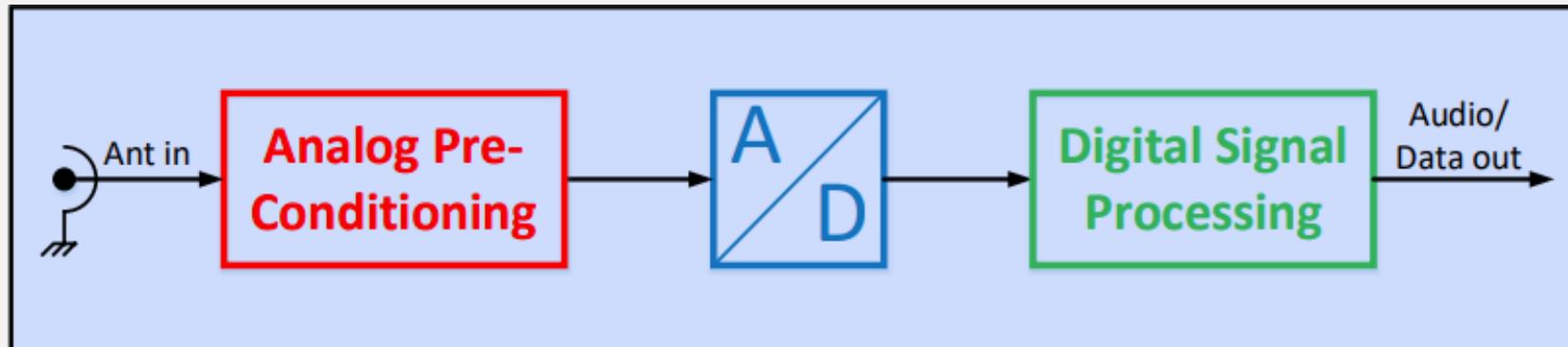
07.03.2024



SDR, GNURadio & Co



Blockschaltbild der SDR-Technik





SDR, GNURadio & Co



Der perfekte HF-Empfänger. Wie würde er heute aussehen?

*Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Ulrich L. Rohde, Univ. der Bundeswehr München
Dipl.-Ing. Ing. Univ. Thomas Bögl, Rohde & Schwarz München*

Moderne HF-Empfänger müssen eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen:

- Empfindlichkeit
- Robustheit
- Großsignalfest
- und viele andere.

Haupt-Anforderungen führen oft direkt zu HF-Konzepten und -Architekturen mit ihren spezifischen Vorteilen und Nachteile. Doch wie sähe heute der perfekte HF-Empfänger aus, der alle verfügbaren Technologien in ein modernstes Konzept für einen Software Defined Receiver vereint und verwendet?



SDR, GNURadio & Co



Ist es „IF-Sampling“ oder „Direct Sampling“ oder gar etwas anderes?

Zunächst wurden, vor 120 Jahren, sehr einfache HF-Empfängerkonzepte verwendet und erlaubten bereits eine Transatlantik Kommunikation, wie von Marconi demonstriert.

Seit damals wurden viele Verbesserungen im Design eines HF Empfänger durch die Einführung neuer erreichter Technologien und Architekturen Schritt für Schritt eingearbeitet.

Jeder technologische Schritt basierte auf der Motivation, bestimmte Verbesserungen zu erreichen, wie z.B. kleinere Größe, höhere Empfindlichkeit oder andere. Im folgenden Absatz sind die wichtigsten Schritte der Verbesserungen zusammengefasst:



SDR, GNURadio & Co



Schritte der Verbesserungen

- Schritt 1:
 - Marconi's Receiver keine Verstärker, keine Filter aber riesige Antennen.
 - Motivation für Schritt 1: Elektromagnetische Wellen als neue Medien für die drahtlose Kommunikation zu demonstrieren.
- Schritt 2:
 - Verwendung von Vakuumröhren für Verstärker und stabile Oszillatoren aufzubauen.
 - Motivation für Schritt 2: Reichweite und Verfügbarkeit der drahtlosen Kommunikationsausrüstung zu verbessern
- Schritt 3:
 - Verbesserung beteiligter Komponenten z.B. kleinere Röhren und bessere Filter.
 - Motivation für Schritt 3: Reduzierung der Größe und des Gewichts, um tragbare Ausrüstung während des Zweiten Weltkriegs zu ermöglichen.



SDR, GNURadio & Co



- Schritt 4:
 - Einführung von Transistoren.
 - Motivation für Schritt 4: Weitere Reduzierung von Größe, Gewicht und Power (SWaP) und Preis, um eine Massen-Produktion zu ermöglichen.
- Schritt 5:
 - SDR 1. Generation eingeführt
 - Motivation zu Schritt 5: Erhöhen der Flexibilität um fest verdrahtete Komponenten durch Software zu ersetzen.
- Schritt 6:
 - SDR 2. Generation.
 - Motivation für Schritt 6: SWaP (Anforderungen an Größe, Gewicht und Leistung) weiter reduzieren, Abtauschen zwischen Leistung und Flexibilität.



SDR, GNURadio & Co



- Schritt 7:
 - Der perfekte HF-Empfänger
 - Motivation von Schritt 7: Beste Leistung mit Höchstleistung und Flexibilität zugleich.
- Der Schritt 7 wird nun im Folgenden untersucht.
 - Die Architektur eines Empfängers wird direkt vom Key-Anforderungen gesteuert, die erfüllt werden müssen. Die Zahl der Key-Anforderungen können jedoch für ein HF-Receiver-Design recht hoch sein gibt es schließlich doch die folgenden drei Hauptanforderung, die dominieren:



SDR, GNURadio & Co



Moderne HF-Empfänger müssen ...

... schwache Nutzsignale aufnehmen können

- zur selben Zeit wo sehr starke Störer welche innerhalb eines gegebenen Frequenz-Offsets vorhanden sind
- Innerhalb dieser Top-Anforderungen haben wir einige versteckte Notwendigkeiten, die im Detail bekannt sein müssen
 - **die erforderliche Empfindlichkeit**
 - **der maximale Pegel für Störer und auch**
 - **Frequenzoffsets zwischen erwünschten Signalen und Störer.**



SDR, GNURadio & Co



Diese drei – goldenen – Parameter können und müssen aus dem Betriebs-Szenario, in dem der Empfänger verwendet werden soll, extrahiert werden.

In Kombination mit den Fähigkeiten typischer Bausteine wie z.B. Analog-Digital-Wandler (ADC), bestimmen diese drei Top-Parameter die am besten geeignete Architektur für den Empfänger. Alle weiteren Parameter im Datenblatt eines auf dieser Architektur basierenden Empfängers sind nun eine direkte Folge der Qualität der gewählten Bausteine, z.B.: Phasenrauschen von Oszillatoren als Grundlage für die Desensibilisierung.



SDR, GNURadio & Co



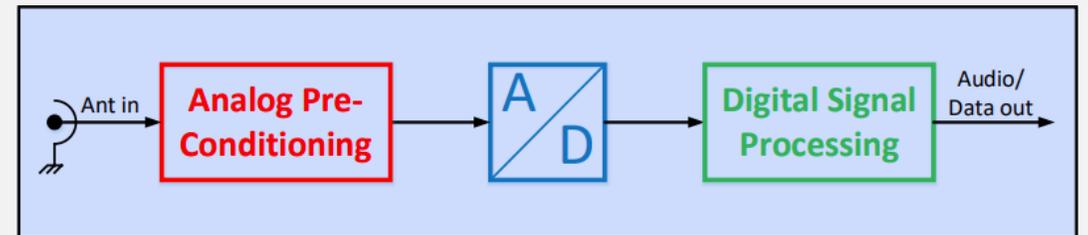
Die drei Goldenen Parameter

Wir beginnen jetzt, die drei Goldenen Parameter zu bewerten und entwerfen dann die „perfekte Architektur“ um sie erfüllen zu können.

Am Anfang verwenden wir ein allgemeines und auch ein sehr vereinfachtes Blockschaltbild eines digitalen Receivers, zum Identifizieren wie unsere drei goldenen Parameter der Beeinflussung des Designs wichtiger Bausteine folgt.

Das Blockschaltbild jedes digitalen Empfängers kann mit drei Hauptfunktionsblöcke gebaut werden:

- Analoge Vorkonditionierung
- Analog-zu-Digital-Konverter
- Digitale Signalverarbeitung



Allgemeine und vereinfachte SDR-Architektur
(Quelle: Prof. Rohde)



SDR, GNURadio & Co



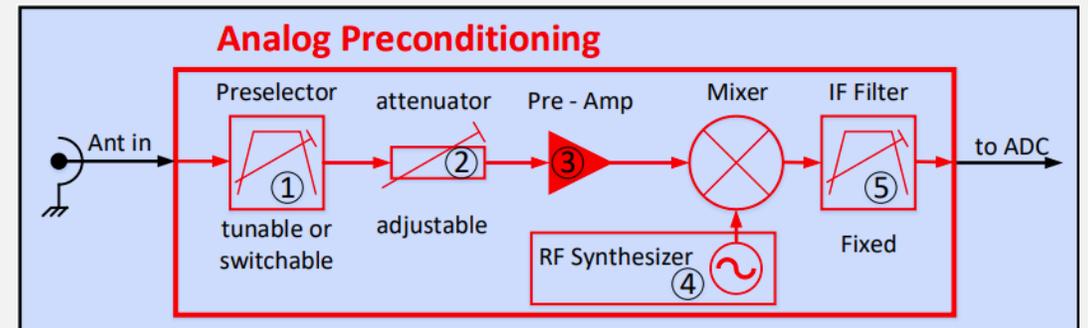
1. Analoge Vorkonditionierung

1.1. Analoge Vorkonditionierung für direktes Sampling

Direct-Sampling-Konzepte erfordern zunächst eine sorgfältige Prüfung im Entwurf der Verstärkungs-Einstellung zwischen Antenneneingang und ADC.

Dies wird durch die Verwendung eines Verstärkers mit einem gut gewählten Verstärkungs- und Rauschfaktor erreicht, um die erforderliche Empfindlichkeit des Empfängers zu erreichen.

Zusätzlich einen verstellbarer Abschwächer vor dem Verstärker das ermöglicht die Einsatzbreite des kompletten Empfängers nach oben oder unten in Abhängigkeit des momentanen Spektrums an der Antenne zu verschieben.



Analoge Vorkonditionierung für Direct-Sampling-Konzept (Quelle: Prof. Rohde)



SDR, GNURadio & Co



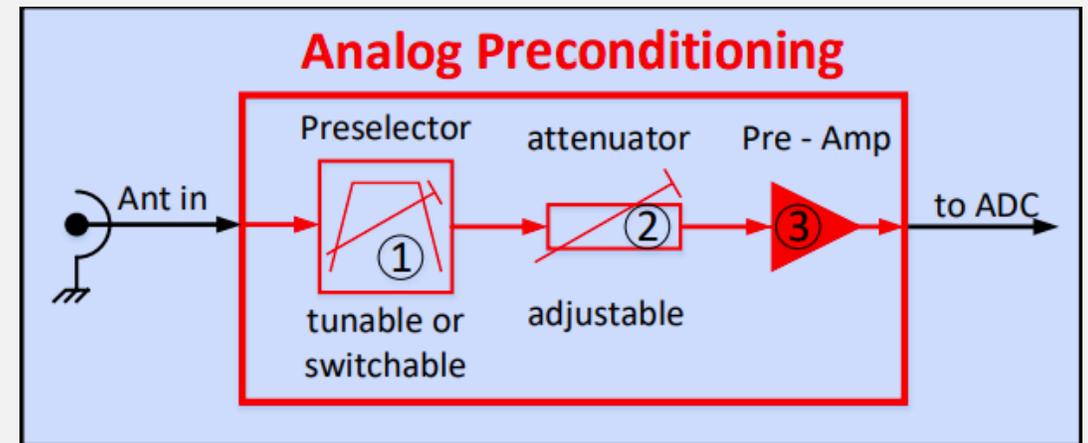
Preselector-Filter

idealerweise direkt am Antennenanschluss platziert
stellt ein erforderliches Minimum an Selektivität zum
Schutz des ADC bereit, und schützt den Vorverstärker
von starken Störern.

Beide Teile

- Verstärkungseinstellung und Selektivität
- verschieben die Eingangsspektrum an der Antenne
in das Betriebs-Fenster am ADC-Eingang welches
durch die Fähigkeiten vom ADC definiert ist.

Das Bild zeigt diese funktionsfähigen Blöcke:



Analoge Vorkonditionierung für Direct-Sampling-Konzept
(Quelle: Prof. Rohde)



SDR, GNURadio & Co

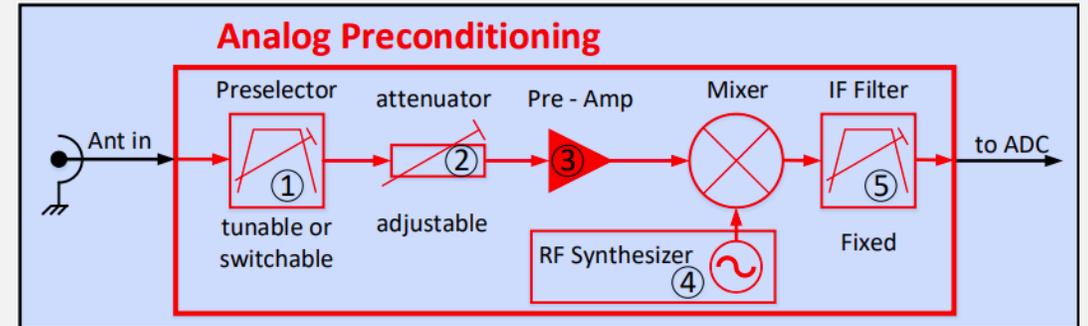


1.2. Analoge Vorkonditionierung für ZF-Abtastung

ZF-Abtastkonzepte übertragen das Spektrum vom gewünschten Signal auf eine andere Frequenz als an der Antenne vorhanden. Es gibt zwei Hauptgründe die ein IF-Sampling-Konzept sogar attraktiv machen obwohl der Aufwand höher ist als bei einem direkten Sampling-Konzept. Ein Grund ist das Einfügen einer deutlich höheren Selektivität zwischen der Antenne und dem ADC und der zweite Grund dient dazu den ADC selbst mit einer höheren Qualität, durch z.B. das richtige auswählen der Abtastrate um eine bessere Leistung zu erreichen, zu betreiben.

Die analoge Vorkonditionierung fügt vor der ZF-Abtastung zwei weitere Komponenten, im Vergleich zu einem für Direct-Sampler, hinzu:

- HF-Synthesizer
- ZF-Filter



Analoge Vorkonditionierung für die ZF-Abtastung
(Quelle: Prof. Rohde)



SDR, GNURadio & Co



2. Was ist das richtige Konzept?

Das richtige Konzept für einen softwaredefinierten HF-Empfänger ist immer abhängig vom Anwendungsfall und der Qualität der Funktionsblöcke, die verwendet werden sollen oder können.

Die Qualität der ausgewählten Bausteine wird dann sehr oft durch die damit verbundenen Kosten beeinflusst.

Folglich stellen die meisten auf dem Markt erhältlichen HF-Empfänger einen Kompromiss zwischen verfügbarer Technologie und vertretbaren Kosten dar, stellen aber normalerweise nicht das dar, was technisch möglich ist, wenn die Kosten nicht berücksichtigt würden.



SDR, GNURadio & Co



2.1. Was ist das perfekte Konzept?

Herr Prof. Rohde versucht in seinem weiteren Vortrag das perfekte Konzept zu erarbeiten:

“das perfekte State-of-the-Art-Konzept um einen softwaredefinierten HF-Empfänger aufzubauen, entsteht indem wir die beste verfügbare Technologie für jeden der erforderlichen Bausteine kombinieren. Wir beginnen unsere Designarbeit mit einer Analyse der verfügbaren ADCs und der Leistung, die sie bieten können.”



SDR, GNURadio & Co



SDR IM AMATEURFUNK

07.03.2024

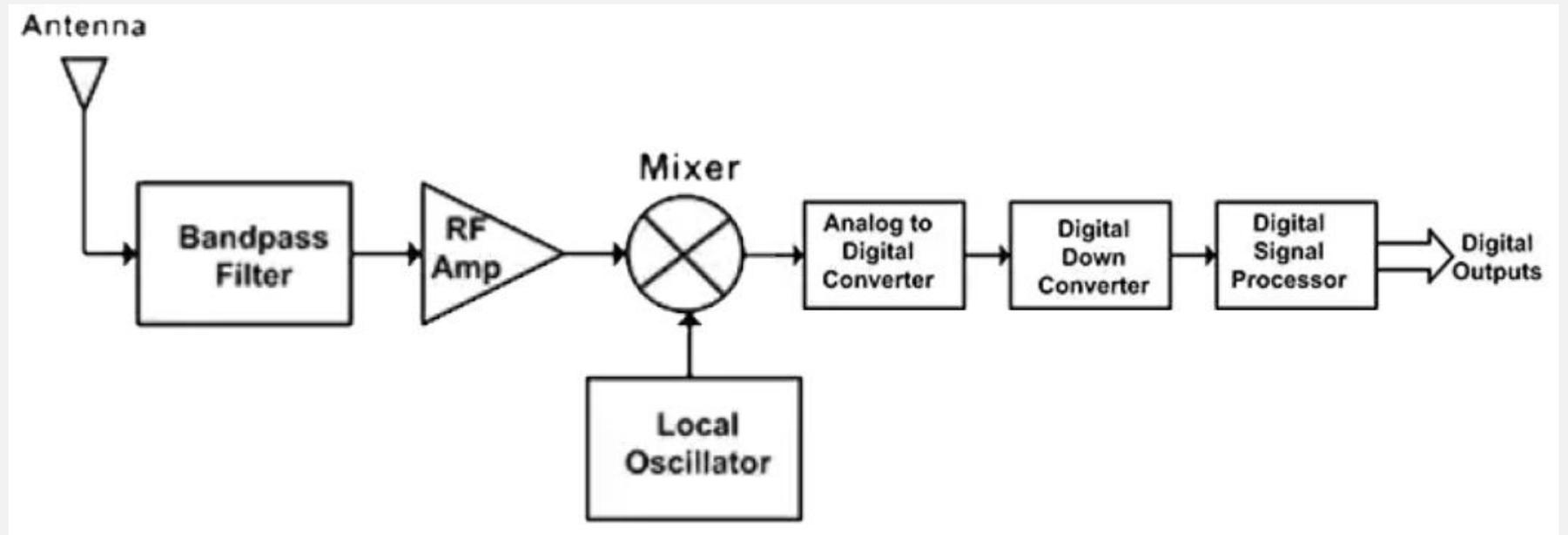


SDR, GNURadio & Co



Blockschaltbilder der SDR-Technik

- Aktuell werden im noch viele Geräte in einer Mischform aufgebaut



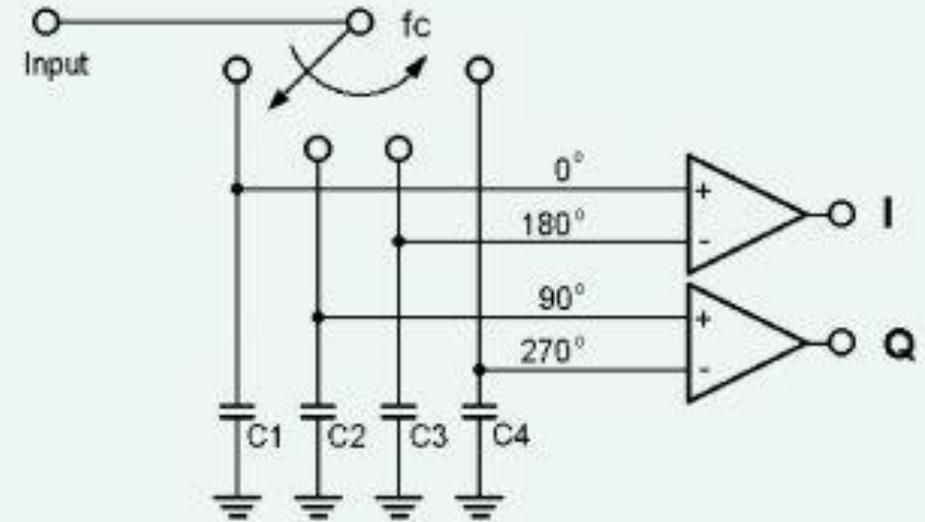


SDR, GNURadio & Co



Blockschaltbilder der SDR-Technik

- Direct-Sampling mittels **Taylor-Mischer**
 - Der Taylor-Mischer - wie ihn Reinhold, OE5RNL schon dargestellt hat, ist ein einfaches Konzept, er wird z.B. SDR1000, Elecraft KX3, KX2, McHF, Softrock, FA-SDR, Softrock in Verbindung mit einer Stereo-Soundkarte verwendet.



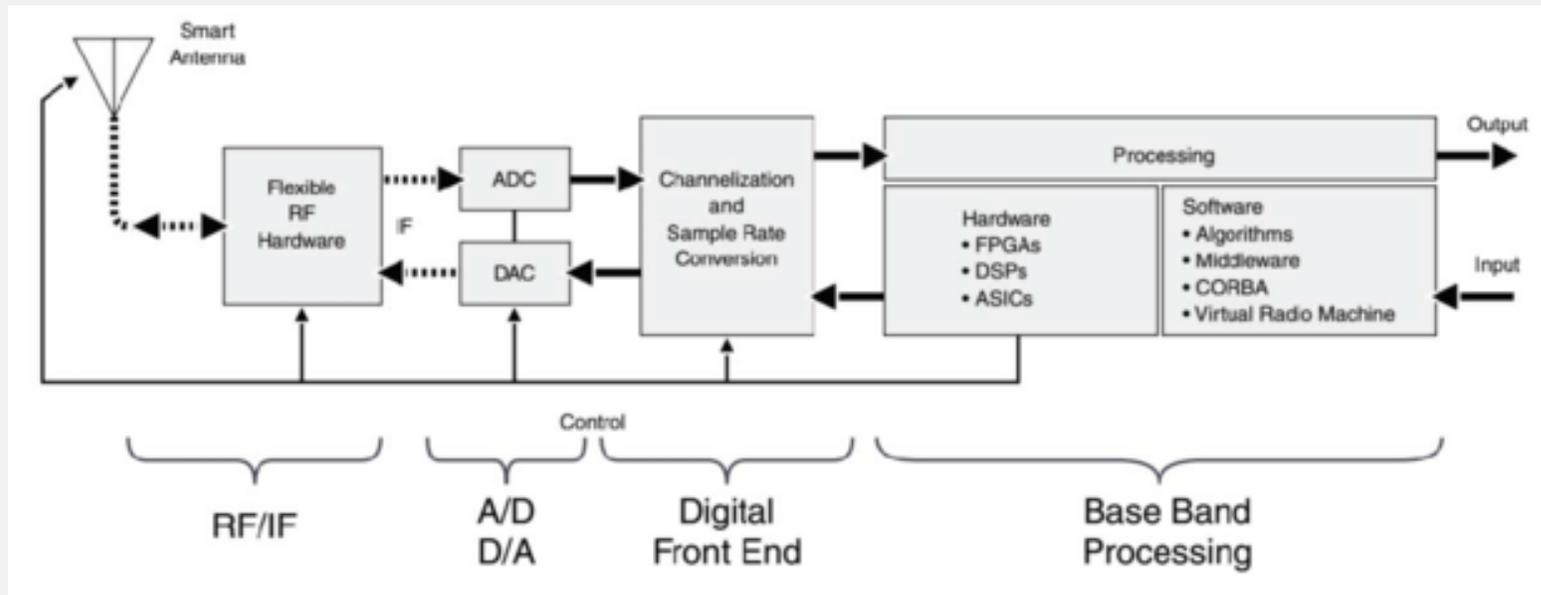


SDR, GNURadio & Co



Blockschaltbilder der SDR-Technik

- Beispielkonzept wie es in vielen SDR-Modulen verwendet wird





SDR, GNURadio & Co



SDR-Grundlagen und Anwendungen im Amateurfunk

OE5RNL

Ing. Reinhold Autengruber

oe5rnl@oevsv.at

Digitalreferent OE5

Hamnetkoordinator OE5

Version 2.0

Link zum PDF

<https://www.oevsv.at/export/oevsv/technik-folder/J2018/bin/SDR-Grundlagen-und-Anwendungen-v2-.0.pdf>



SDR, GNURadio & Co



HARDWARE

07.03.2024



SDR, GNURadio & Co



SDR RTL-Stick der Klassiker für den Funkamateureur

Eingangssignale von 500 kHz bis 1,7 GHz

Bis das Signal von der Antenne bis an den PC gelangt sind 2 Mischer beteiligt:

im R820T Tuner für die gewünschte HF-Frequenz zwischen 500 kHz und ca. 1750 MHz

im RTL2832U für die IF-Frequenz zwischen 0 und 14.4 MHz bzw. 28.8 MHz

Als Filter wirken insgesamt 3 Bausteine:

RF-Filter im R820T-Tuner

IF-Filter im R820T-Tuner

digitaler Anti-Alias-Filter im RTL2832U

Der RTL2832U – reduziert mittels Direct Down Conversion (DDC) zu einer Rate zwischen 900 kHz und 3,2 MHz (2,4 MHz stabil) welche dann via USB-Schnittstelle der PC-Soundkarte zugeführt wird.

EUR 50



SDR RTL-Stick



SDR, GNURadio & Co



SDR RTL-Stick Schaltung

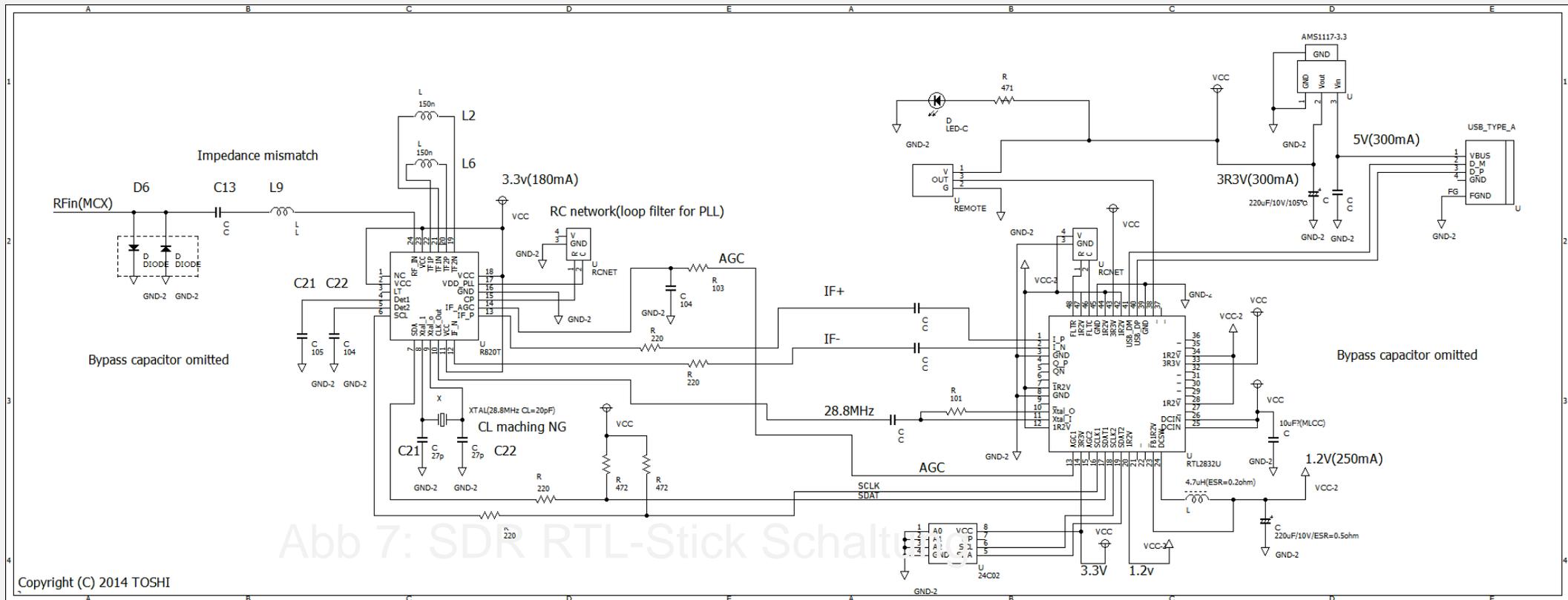


Abb 7: SDR RTL-Stick Schaltung



SDR, GNURadio & Co



SDR HackRF One

1 MHz - 6000 MHz

bis zu 20 MS/sec

8-bit quadrature samples (8-bit I and 8-bit Q)

Halbduplex TRX

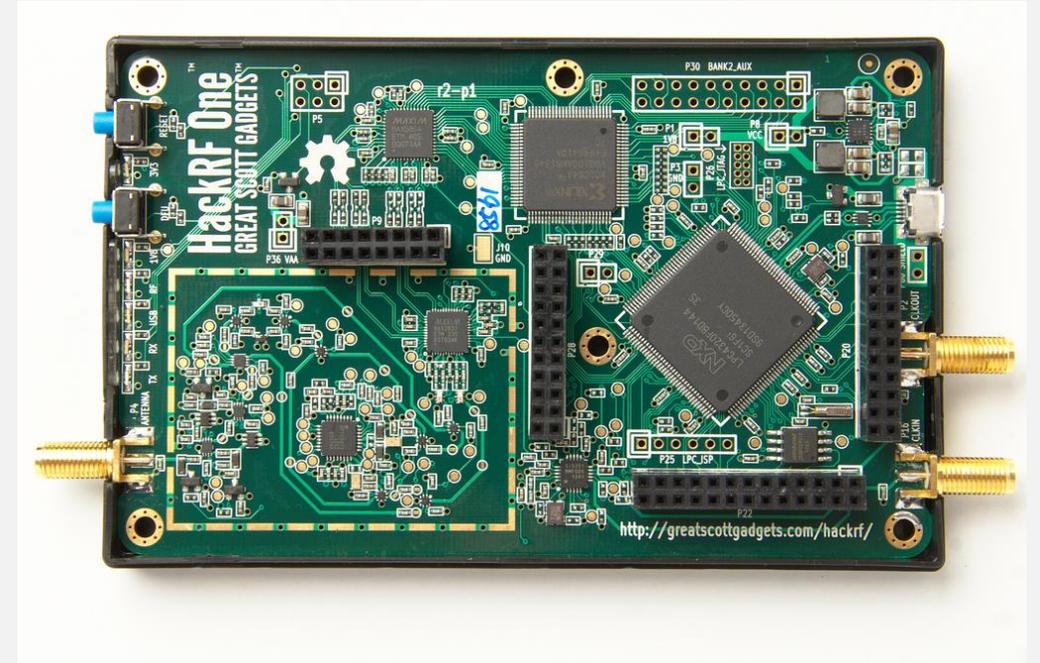
TX-Ausgangsleistung: max. 15 dBm

Clock Input

USB 2.0

GNU-Radio kompatibel

EUR 340



SDR HackRF One



SDR, GNURadio & Co



SDR BladeRF 2.0 micro

47 MHz - 6000 MHz

2x2 MIMO, 61.44 MHz sampling rate

56 MHz filtered bandwidth (IBW)

Automatic gain control (AGC)

12-Bit-ADC und -DAC

Full duplex TRX

TX-Ausgangsleistung: max. 8 dBm

USB 3.0

GNU-Radio kompatibel

EUR 730



SDR BladeRF 2.0 micro



SDR, GNURadio & Co



ADALM-Pluto SDR

325 MHz - 3800 MHz

Bis zu 20 MHz momentane Bandbreite

12-Bit-ADC und -DAC mit flexibler Abtastrate

Halb- oder Vollduplex TRX

TX-Ausgangsleistung: max. 7 dBm

USB 2.0

GNU Radio TX- und RX-Blöcke

EUR 220



ADALM-Pluto SDR



SDR, GNURadio & Co



LimeSDR USB/Mini

10 MHz - 3500 MHz

30,72 MHz Bandbreite

12-Bit-ADC und -DAC

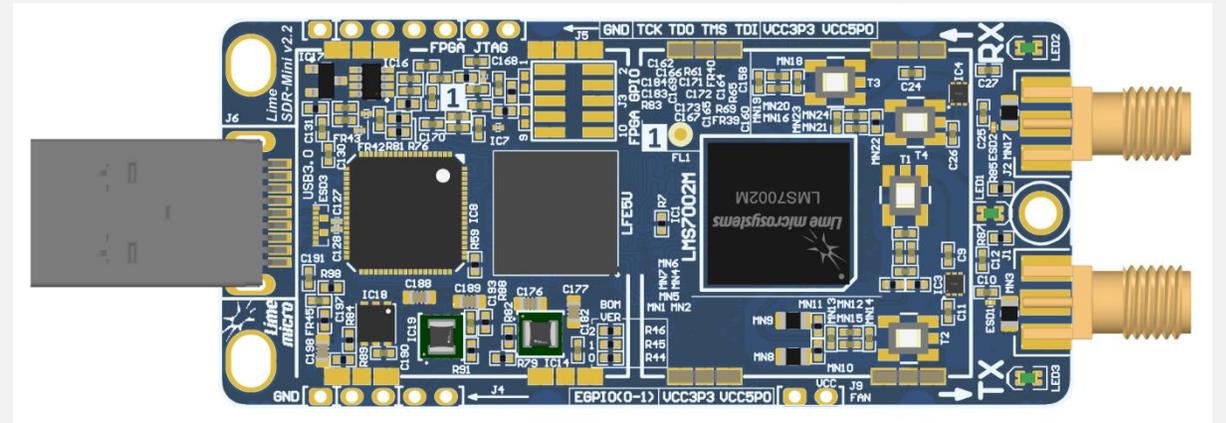
Mehrere Kanäle

TX-Ausgangsleistung: max. 10 dBm

USB 3.0

GNU Radio TX- und RX-Blöcke

EUR 400



LimeSDR 2.0 USB/Mini



SDR, GNURadio & Co



ETUS USRP B205 mini-i

70 MHz - 6000 MHz

bis zu 56 MHz sofortige Bandbreite

12-Bit-ADC und -DAC

Vollduplexbetrieb

TX-Ausgangsleistung: max. 10 dBm

USB 3.0

Synchronisation mit 10 MHz Taktreferenz

EUR 1300



ETUS USRP B205 mini-i



SDR, GNURadio & Co



Einkaufsquellen

- SDR
 - LimeSDR mini 2.0
<https://www.crowdsupply.com/lime-micro/limesdr-mini-2#products>
 - SDR HackRF One
<https://www.antratek.com/gsg>
 - SDR BladeRF 2.0 micro
<https://www.antratek.de/nuand-bladerf-2-0-micro-xa4-sdr>
 - ADALM Pluto SDR
 - https://www.mouser.at/ProductDetail/Analog-Devices/ADALM-PLUTO?qs=xbccQsLEe0ffoUoi%2FjfIWA%3D%3D&mgh=1&utm_id=20603843967&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA6KWvBhAREiwAFPZM7v8HoUCN9oZZbRKem_m_0gq3o0Cl67yJo7Pjk4QT9DRid_JwMNH02hoCjysQAvD_BwE
 - Es gibt viele alternative Quellen bitte genau vergleichen



SDR, GNURadio & Co



SOFTWARE



SDR, GNURadio & Co



- SDR++ ist eine plattformübergreifende und Open-Source-SDR-Software mit dem Ziel, aufblähungsfrei und einfach zu bedienen zu sein.

Merkmale

Multi-VFO

Umfangreiche Hardwareunterstützung (sowohl über SoapySDR als auch über dedizierte Module)

SIMD-beschleunigter DSP

Plattformübergreifend (Windows, Linux, MacOS und BSD)

Vollständiges Wasserfall-Update, wenn möglich.

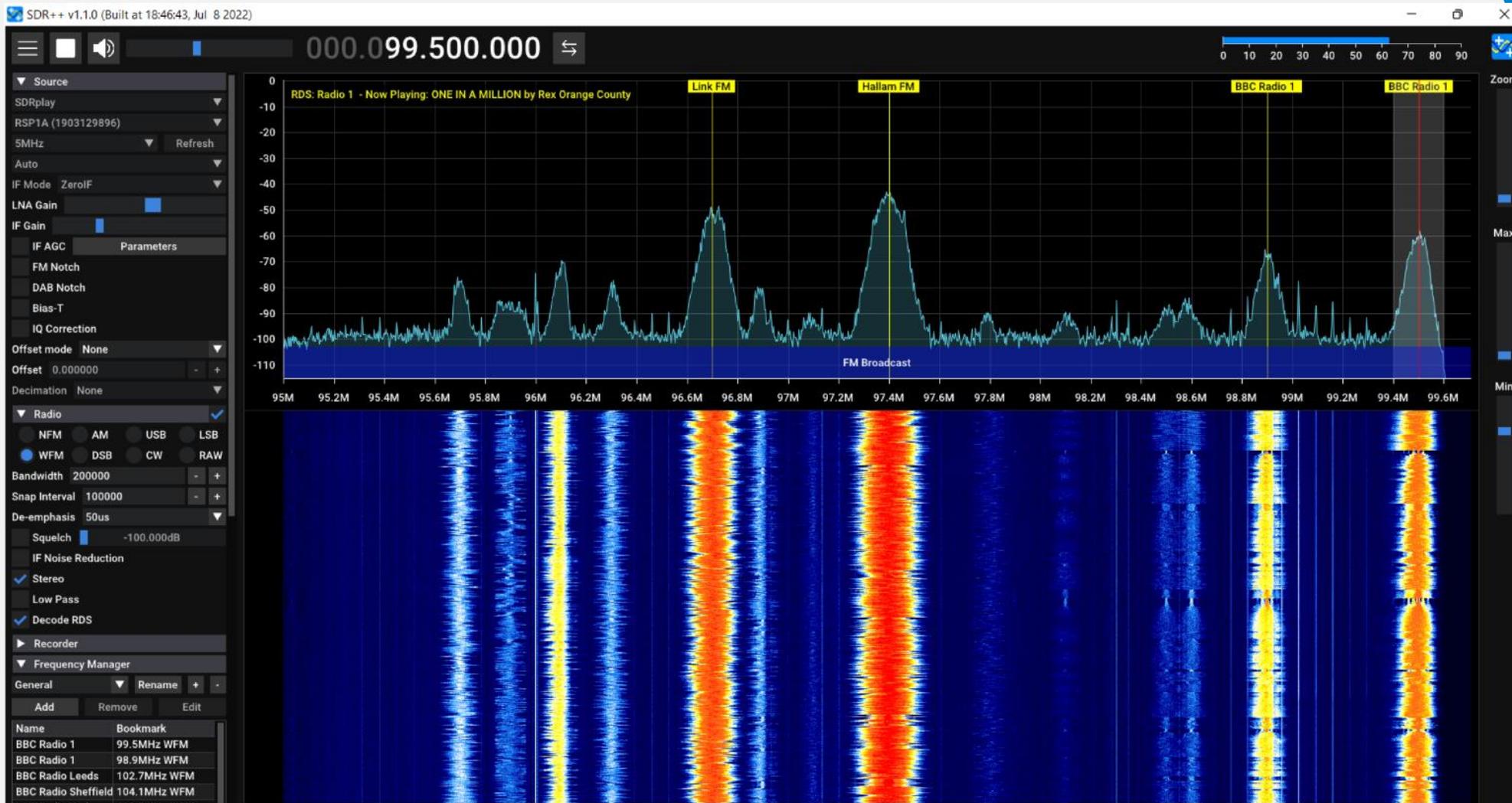
Macht das Surfen einfacher und angenehmer

Modularer Aufbau (einfach eigene Plugins schreiben)



SDR++

SDR, GNURadio & Co



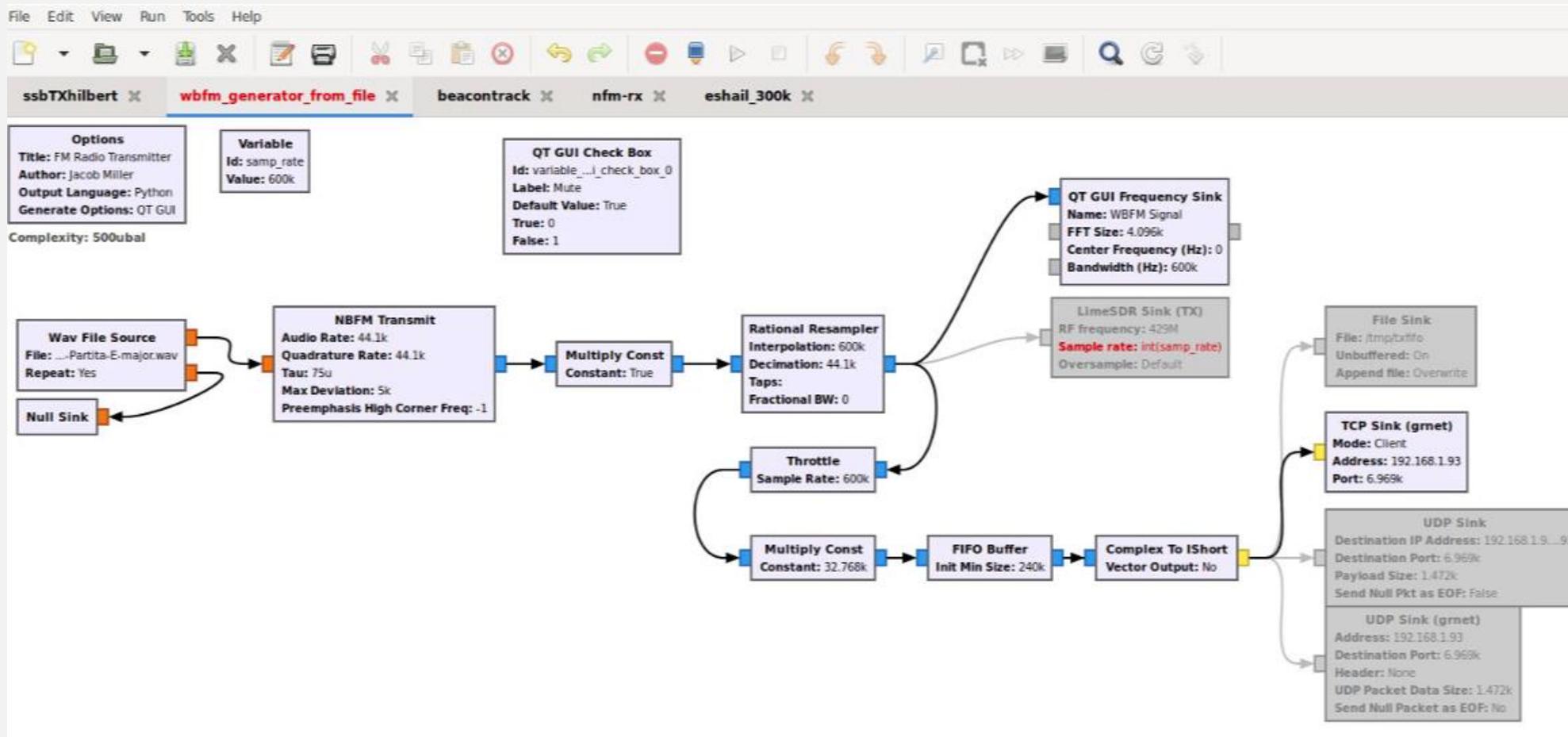
07.03.2024



SDR, GNURadio & Co



GNU-RADIO FlowGraphs





SDR, GNURadio & Co



DOWNLOAD

07.03.2024



SDR, GNURadio & Co



Index

- SDR-Konsolen
 - SDR++ (Nightly build)
<https://github.com/AlexandreRouma/SDRPlusPlus/releases/tag/nightly>
 - SDRConsole (3.3)
<https://www.sdr-radio.com/download#Release>
- GNURadio (v3.10)
<https://wiki.gnuradio.org/index.php/InstallingGR>



SDR, GNURadio & Co



Literatur

The perfect HF Receiver. How would it look like today?

Prof. Dr. Ing. habil. Dr. h. c. mult. Ulrich L. Rohde, Univ. of Armed Forces Munich
Dipl. Ing. Univ. Thomas Boegl, Rohde & Schwarz Munich (2022)

SDR Grundlagen und Anwendungen im Amateurfunk

Ing. Reinhold Autengruber OE5RNL (2010)



Amateurfunk und Citizen Science

Wir wollen es wissen! Wir alle sind Forschung!



- **IceBird-Talk**
ÖVSV Landesverbandes Wien
Ing. Kurt Baumann, OE1KBC
 - Unterstützung von Forschung und Entwicklung
 - Aus- und Weiterbildung im Funkwesen
 - Projekte planen und verwirklichen

<https://oe1.oevsv.at>

